



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ZLEPŠENÍ SYSTÉMU MANAGEMENTU KVALITY

IMPROVEMENT OF QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Číšecký

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Alois Fiala, CSc.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Jakub Číšecký**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: **doc. Ing. Alois Fiala, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Zlepšení systému managementu kvality

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Optimalizace vybraného podnikového procesu z hlediska toku přidané hodnoty.

Cíle diplomové práce:

Analýza současného stavu systému managementu ve vybraném podniku.

Mapování procesu průběhu standardního obchodního případu (zakázky).

Identifikace příležitostí ke zlepšování a výběr kritického procesu.

Návrh na zlepšení vybraného procesu podle vhodných přístupů (Lean production, Six Sigma apod.).

Aplikace ve vybrané organizaci dle aktuálních podmínek.

Seznam doporučené literatury:

BASL, J., GLASL, V., TŮMA, M.: Modelování a optimalizace podnikových procesů. Skriptum. Plzeň: ZČU, 2002. ISBN 80-7082-936-2.

ŘEPA, V.: Podnikové procesy. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN 978-8-247-2252-8.

IMAI, M.: Kaizen. Český překlad, 1. vydání. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1621-0.

IMAI, M.: Gemba Kaizen. Řízení a zlepšování kvality na pracovišti. Český překlad, 1. vydání. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 80-251-0850-3.

TÖPFER, A. a kol.: Six Sigma. Koncepce a příklady pro řízení bez chyb. Český překlad, 1. vydání. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-1766-8.

GEORG, M.L. a kol.: Lean Six Sigma kapesní příručka. Český překlad, 1. vydání. Brno: SC&C Partner, 2010. ISBN 978-80-904099-2-7.

PLURA, J.: Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Praha: Computer Press, 2001. ISBN 80-722-543-1.

VODÁČEK, L., VODÁČKOVÁ, O.: Moderní management v teorii a praxi. Praha: Management Press, 2006. ISBN 80-7261-143-7.

VEBER, J. a kol.: Management. Praha: Management Press, 2000. ISBN 80-7261-029-5.

GEORGE, M., ROWLANDS, D., KASTLE, B.: Co je to Lean Six Sigma? Brno: SC&C Partner, 2005. ISBN 80-239-5172-6.

PANDE, P.S., NEUMAN, R.P., CAVANAGH, R.R.: Zavádíme Metodu Six Sigma. Brno: TwinsCom s.r.o., 2002. ISBN 80-238-9289-4.

ČSN EN ISO 9001:2016 Systémy managementu kvality – Požadavky. Praha: ÚNMZ, 2016.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací výrobního procesu, konkrétně montáží obráběcího stroje. Obsahuje detailní popis procesu montáže i jeho začlenění do celého průběhu standardního obchodního případu. Jako hlavní nástroj optimalizace je využita metoda PERT, doplněna o Ganttův diagram. Cílem je návrh postupu pro efektivnější plánování výroby.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the optimization of the production process, namely the assembly of the machine tool. It contains a detailed description of the assembly process and its integration throughout the standard business case. The PERT method is used as the main optimization tool, complemented by a Gantt diagram. The aim is to design a process for more efficient production planning.

KLÍČOVÁ SLOVA

Horizontální vyvrtávačka, optimalizace, proces, PERT, Ganttův diagram

KEYWORDS

Boring machine, optimization, process, PERT, Gantt's diagram

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČÍŠECKÝ, J. *Zlepšení systému managementu kvality*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 63 s., Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Alois Fiala, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Aloisu Fialovi, CSc. za cenné rady při vedení mé diplomové práce, pracovníkům společnosti Fermat za vstřícný přístup a poskytnuté informace a také všem blízkým za podporu během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Aloise Fialy, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2016

.....
Bc. Jakub Číšecký

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI.....	17
2.1	Profil společnosti	17
2.2	Historie.....	17
2.3	Současnost	18
2.4	Výrobní program.....	18
2.4.1	Deskové horizontální vyvrtávačky	19
2.4.2	Stolové horizontální vyvrtávačky	20
2.4.3	Křížové horizontální vyvrtávačky	21
2.4.4	Příslušenství k horizontálním vyvrtávačkám.....	22
2.4.5	Další stroje	25
3	ANALÝZA SYSTÉMU MANAGEMENTU KVALITY	27
3.1	Odpovědnost vedení organizace	28
3.1.1	Závazek vedení organizace.....	28
3.1.2	Politika kvality.....	28
3.1.3	Vnitřní komunikace	29
4	MAPOVÁNÍ PROCESŮ	31
4.1	Teorie	31
4.2	Průběh zakázky	31
4.2.1	Prvotní kontakt	31
4.2.2	Tvorba specifikace.....	32
4.2.3	Konstrukce stroje	32
4.2.4	Plánování	32
4.2.5	Výroba a nákup.....	32
4.2.6	Montáž	32
4.2.7	Expedice	32
4.2.8	Montáž u zákazníka	33
4.2.9	Servis	33
4.2.10	Další služby	33
5	NÁVRH OPTIMALIZACE PROCESU	35
5.1	Volba vhodného procesu	35
5.2	Současný stav.....	35
5.3	Volba vhodného optimalizačního nástroje	36
5.3.1	Lean manufacturing (štíhlá výroba)	36
5.3.2	Six Sigma.....	36
5.3.3	Analýza síťových grafů	37
5.4	Postup metody PERT	37
5.5	Definování procesů	39
5.5.1	Přehled činností montáže stroje WRF 160.	39
5.6	Stanovení vztahů mezi činnostmi	43
5.7	Stanovení dob trvání	44
5.8	Síťový graf.....	45
5.8.1	Dělení síťových grafů	45
5.8.2	Pravidla pro sestavení síťového grafu	45
5.8.3	Sestavení síťového grafu montáže WRF	45

5.9	Kritická cesta	46
5.9.1	Sítový graf s parametry metody PERT	48
5.9.2	Určení doby trvání projektu při zvolené míře rizika	50
5.10	Dělení na pracoviště	51
5.10.1	Ganttův diagram	52
5.11	Časová osa stěžejních součástí	55
6	ZÁVĚR.....	57
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	61
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ.....	63
8.1	Seznam zkratk.....	63
8.2	Seznam symbolů.....	63
8.3	Seznam tabulek.....	64
8.4	Seznam obrázků.....	64
9	SEZNAM PŘÍLOH.....	65

1 ÚVOD

Na dnešním celosvětovém trhu s velmi konkurenčním prostředím je pro úspěch každé firmy potřeba neustále zvyšovat kvalitu nabízených produktů a služeb. Kvalita, ač ji do jisté míry zákazník v dnešní době vnímá jako samozřejmost, je základním parametrem pro posouzení výrobku a tím rozhoduje o jeho tržním úspěchu či neúspěchu. Jedním z nejúčinnějších způsobů jak dosáhnout požadované kvality produktu je zvýšení kvality vnitropodnikových procesů.

Tato práce se zaměřuje na příklad optimalizace právě takového stěžejního vnitropodnikového procesu – a to na montáž obráběcího stroje.

V úvodní části práce proběhne stručné seznámení se s výrobní společností a analýza současného stavu managementu kvality. Následovat bude mapování procesu průběhu standardního obchodního případu.

Ve stěžejní části bude uveden podrobný popis procesu montáže obráběcího stroje – horizontální vyvrtávačky, na kterém bude optimalizace prováděna. Jako hlavní optimalizační nástroj bude využita metoda PERT, jenž je zobecněním metody kritické cesty.

Hlavním cílem této práce je uvést postup optimalizace pomocí analýzy procesů, sestavení síťového grafu a Ganttova diagramu. Tato získaná data by v konečném důsledku měla vést k přesnějšímu plánování kapacit, lepšímu odhadu termínů a tím k celkovému zefektivnění výroby.

2 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Strojírenský průmysl patří bezesporu mezi nejvýznamnější odvětví průmyslu v ČR a výraznou měrou ovlivňuje její hospodářské výsledky.

Ač je v současnosti nejvýraznějším segmentem průmysl automobilový tak v ústraní nezůstávají ani další tradiční průmyslová odvětví jako je přesné strojírenství, kolejová vozidla, zemědělské prostředky a výroba obráběcích strojů, kterou se budeme dále zabývat.

Česká výroba obráběcích strojů je pojem, jenž má ve světě stále dobré jméno. Vděčí za to hlavně celkové vysoké kvalitě a pokrokovostí v meziválečném období kdy se Československo řadilo mezi 10 nejvýznamnějších strojírenských států. Toto postavení si udrželo až do 80. let.

Mezi přední české firmy zabývající se výrobou kovoobráběcích strojů můžeme zařadit TOS Kuřim, TOS Varnsdorf, Škoda Machine Tool, ŽŽAS, Kovosvit MAS a nebo také Fermat který se přes relativní mládí společnosti již dokázal v tomto segmentu prosadit a v jistých věcech také zavedené značky předčít.

Praktická část této diplomové práce se bude zabývat právě výrobou společnosti Fermat.

2.1 Profil společnosti

Společnost Fermat patří mezi přední české výrobce obráběcích strojů, převážně horizontálních vyvrtávaček s celosvětovým působením.

2.2 Historie

Počátek skupiny Fermat sahá do raných 90. let kdy se firma Jiřího Ference zaměřovala na opravy obráběcích strojů a s tím související výrobu náhradních dílů. V období po změně režimu byla na trhu velká aktivita a tehdy mladá a malá firma se zvládla dobře přizpůsobit a rozšířila své portfolio o nákup a prodej strojů použitých.

Kolem roku 2006 byl sortiment doplněn i o stroje nové a začal být kladen větší důraz na expanzi na americké, asijské a ruské trhy. Po seznámení se s požadavky většiny světových trhů bylo přistoupeno k vývoji vlastního stroje. Jelikož firmu nesvazovala žádná historie a zaběhnuté konvence tak mohl vzniknout opravdu moderní stroj pružně reagující na měnící se potřeby trhu té doby.

2.3 Současnost

V současnosti se společnost Fermat zaměřuje výhradně na výrobu horizontálních vyvrtávaček a jejich příslušenství. V míře menší poté na brusky na kulato, portálové frézky a frézovací centra.

Celkově ve společnosti pracuje kolem 650 zaměstnanců, kteří ročně vyprodukují přes 100 obráběcích strojů.

Pro představu, celkový obrat za rok 2015 činil 78 mil. EUR. Hlavním důvodem úspěchu je neustálé zlepšování výrobků, orientace na zákazníka, odvaha ke zkoušení nových věcí a hlavně pružnost, kterou by podnik s padesáti letou tradicí a pevně zakotvenými procesními postupy mohl nabídnout jen stěží. [1]

Mezi zákazníky se řadí nejrozumnější strojírenské podniky zaměřující se na obrábění kovů, ve kterých stroje Fermat nachází uplatnění jak v sériové, tak kusové výrobě.

Hlavní montážní hala sídlí v brněnské průmyslové zóně Slatina (Obr. 1), další výrobní závody potom v Lipníku nad Bečvou, Praze, Rokycanech a Liberci.



Obr. 1) Hlavní brněnská montážní hala s administrativním a technickým zázemím [1]

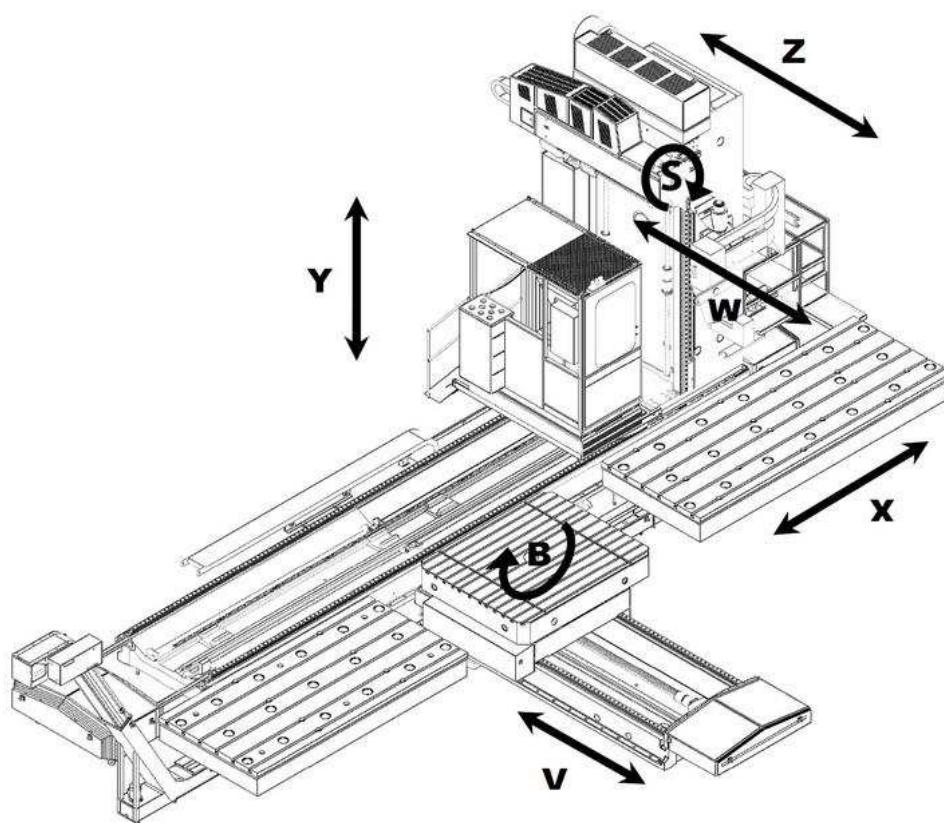
2.4 Výrobní program

Výrobní program společnosti Fermat se skládá z nejrozumnějších CNC obráběcích strojů. I přes neustálé snahy o rozšiřování portfolia stále zcela zásadní podíl vyrobených strojů tvoří horizontální vyvrtávačky. Ty se vyrábí v několika řadách lišících se konstrukcí a rozměry.

2.4.1 Deskové horizontální vyvrtávačky

Deskové horizontální vyvrtávačky (Obr. 2) se vyznačují v základu nepohyblivě upnutým obrobkem na deskovém poli před strojem. Stojan s vřetením se pohybuje po loži umístěném kolmo k ose vřetena. Nejčastějším příslušenstvím je otočný stůl, který je umístěn mezi upínacími deskami a umožňuje upnutí a natáčení menších obrobků. Tyto stroje se užívají pro obrábění největších možných obrobků čemuž odpovídají pojezdy jednotlivých os, zvýšená tuhost a přesnost. [1]

Velikosti pojezdů a ostatní parametry deskových horizontálních vyvrtávaček Fermat jsou uvedeny v tabulce 1.



Obr. 2) Horizontální vyvrtávačka Fermat WF [1]

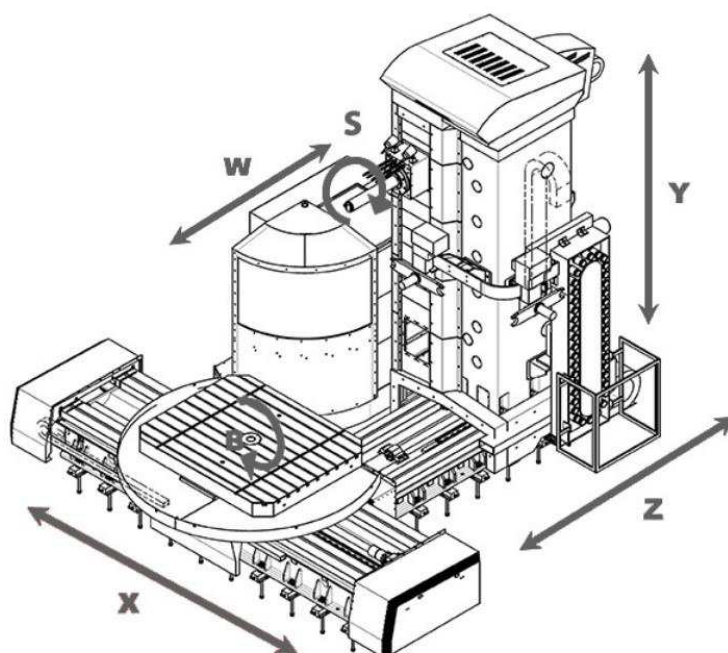
Tab 1) Parametry deskových horizontálních vyvrtávaček Fermat [1]

Typ	Vřeteno	Pojezdy os [mm]			Stůl
	Prům. [mm]	X	Y	Z	Max [t]
WF	130	2400	2000	7000	80
	150	-	-	-	
		28100	3500		
WRF	130	2400	2000	1000	80
	150	-	-	-	
	160	28100	8000	1600	

2.4.2 Stolové horizontální vyvrtávačky

Stolové horizontální vyvrtávačky (Obr. 3) patří v současnosti k nejuniverzálnějším obráběcím strojům. Jsou charakterizovány přítomností obráběcího stolu, jenž se pohybuje na příčných saních kolmo k ose vřetena. Tento stůl umožňuje natáčení obrobku od 0 do 360°. Stojan se u tohoto typu horizontální vyvrtávačky pohybuje na podélném loži v ose vřetena směrem k obrobku. Smykadlo může být k saním osy Y uchyceno buď pevně (WFT 11, WFT 13) a nebo výsuvně (osa V – rovnoběžná s osou W u WFT13-R). Výsuvného provedení se využívá hlavně v kombinaci s frézovací hlavou kdy nelze pro obrábění využít výsuv pracovního vřetene (osa W).

Velikosti pojezdů a ostatní parametry stolových horizontální vyvrtávaček Fermat jsou uvedeny v tabulce 2.



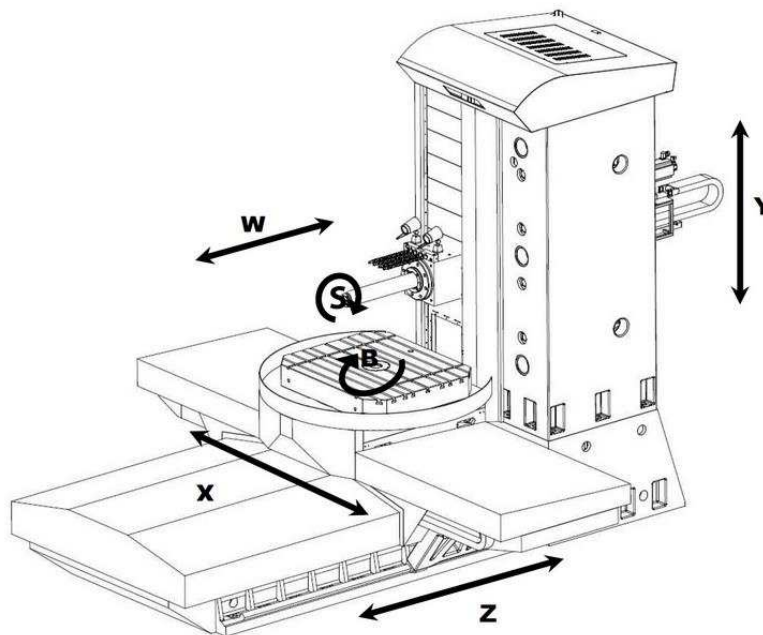
Obr. 3) Stolová horizontální vyvrtávačka typu WFT [1]

Tab 2) Parametry stolových horizontálních vyvrtávaček Fermat [1]

Typ	Vřeteno	Pojezdy os [mm]				Stůl
	Průměr [mm]	X	Y	Z	V	max [t]
WFT 11	110	2000	1250	1250	0	25
		-	1700	1700		
		5000	2000			
WFT 13(R)	130	2000	2000	1500	0	80
	140	-	-	2000	700	
	150	5000	3500	3000		
WRFT 130	130	2400	2500	900	900	80
	150		-	-	-	
	160		4000	3900	1200	

2.4.3 Křížové horizontální vyvrtávačky

Křížové horizontální vyvrtávačky (Obr. 4) jsou vybaveny křížovým stolem, jenž umožňuje posuv ve dvou na sebe kolmých směrech. Stojan je tak umístěn pevně a stroj tvoří kompaktní celek s jedním základním ložem osy Z. Tohoto se využívá při snadnějším ustavování a přemísťování. Nevýhodou toho řešení je nižší tuhost osy X a to zejména na začátku a konci pojezdu, proto je toto řešení vhodné pouze pro stroje nižší řady s menšími pojezdy os, nižší nosností otočného stolu a maximálním průměrem vřetena 110 mm. Tyto stroje slouží k obrábění menších obrobků (jednotky tun), vyznačují se příznivou cenou a univerzálností.



Obr. 4) Křížová horizontální vyvrtávačka Fermat WFC [1]

Tab 3) Parametry křížových horizontálních vyvrtávaček Fermat [1]

Typ	Vřeteno	Pojezdy os [mm]			Stůl
	Průměr [mm]	X	Y	Z	Max [t]
WFC 10CNC	100	1250	1200	1250	10
	110	2000	1700		
			2000		

Všechny typy horizontálních vyvrtávaček Fermat jsou nabízeny s nejrozšířenějšími operačními systémy CNC strojů a to: Heidenhain, Siemens a Fanuc.

2.4.4 Příslušenství k horizontálním vyvrtávačkám

Otočný stůl

Jednoznačně nejběžnějším a nejužitečnějším volitelným příslušenstvím pro deskové horizontální vyvrtávačky je otočný stůl. Pro všechny stolové horizontální vyvrtávačky je z povahy stroje nezbytností. Otočný stůl doplňuje kinematiku stroje o další dvě říditelné osy. Těmi jsou: osa B (natáčení stolu) a osa X nebo V (příčný nebo podélný posuv stolní desky) čímž se výrazně zvýší možnosti obrábění a odstraní se zbytečné přeupínání obrobků.

Otočné stoly se liší svou nosností a velikostí stolní desky. Oba tyto parametry je potřeba volit na základě předpokládaných obráběných dílců ale i ostatních parametrů stroje.

Stolní desky mají rozměry od 1250x1400 pro stroje WFC 10 až po 4000x4000 pro stroje WRF. U nejmenších stolů je jejich nosnost (maximální váha obrobku a upínacích přípravků stanovena na 10 tun, na opačné straně jsou potom stoly s nosností 80, případně až 100 tun. [1]

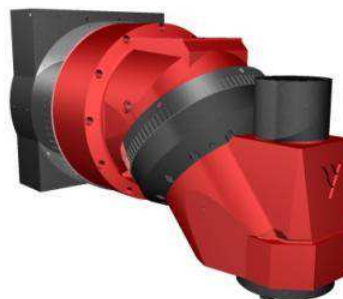
Všechny stoly mají rotační snímač polohy pro přesné polohování a dvojici motorů pro natáčení stolní desky. Dle směru otáčení je vždy jeden motor hlavní (zajišťuje kroutící moment pro polohování) a druhý motor vedlejší (výrazně menší silou působí proti motoru hlavnímu čímž vymezuje zubovou vůli). Jedná se o tzv. master-slave, jehož výsledkem je vyšší přesnost a plynulost polohování.

Mezi speciální otočné stoly patří například stůl náklonný, který umožňuje vyklonění stolní desky proti vřeteníku až o 15°. Tím se dosáhne možnosti obrábění speciálních aplikací.

Frézovací hlava

Mezi další zásadní rozšíření horizontální vyvrtávačky patří frézovací hlava. Ta umožňuje polohování obráběcího nástroje v dalších osách a tím výrazným způsobem zvyšuje možnost užití stroje. Základní frézovací hlavy můžeme dělit dle parametrů na:

- 1.) Manuální – při požadavku na změnu polohy nástroje (natočení hlavy) je potřeba manuálně hlavu přenastavit natočením. Toto řešení vyhovuje zákazníkům s nižšími nároky na frekvenci natáčení hlavy. Výhodou je jednoduchost, spolehlivost a také nižší pořizovací náklady.
- 2.) Automatické – hlava s automatickým natáčením umožňuje měnit hodnotu natočení zcela automaticky na základě požadavků řídicího systému (obráběcího programu). Výhodou je rychlost, přesnost polohování a minimalizace manuální práce. Nevýhodou může být značná složitost hlavy mající negativní dopad na její spolehlivost a také vyšší pořizovací cena.



Příkladem může být hlava UHAmi 30 na obrázku 5.

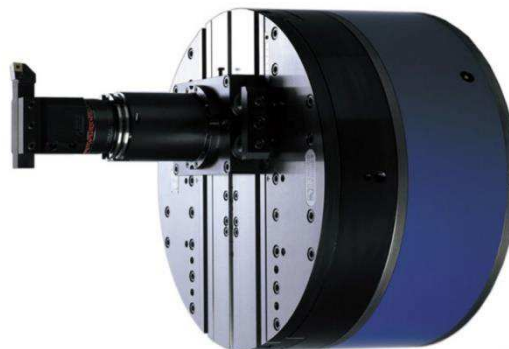
Obr. 5) UHAmi 30 [2]

Dále můžeme frézovací hlavy dělit podle počtu os:

- 1.) Pravoúhlá hlava – umožňuje natáčení pouze v jedné ose
- 2.) Univerzální hlava – umožňuje natáčení ve dvou osách, jenž spolu svírají definovaný úhel. Při určité kombinaci natočení těchto os je možno dosáhnout libovolného úhlu obráběcího nástroje ve dvou rovinách.

Lící deska

Méně rozšířeným příslušenstvím je lící deska (Obr. 6). Ta své uplatnění najde převážně ve vykružování děr s větším průměrem (650-800mm). Lící deska se otáčí společně s vřetenem. Obrábění zajišťuje nůž upnutý na jejím supportu, který slouží k nastavení obráběného průměru a lze jej automaticky posouvat pomocí vyjíždění pracovního vřetena.



Obr. 6) Lící deska [3]

Chlazení nástrojů

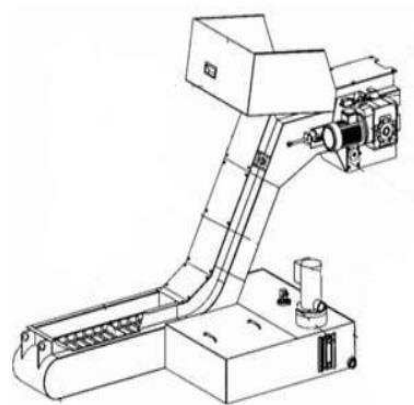
Při většině dnes užívaných technologií obrábění je nezbytné zajistit dostatečný odvod tepla jak z obráběného dílce tak z obráběcího nástroje. K tomu slouží agregát na chladicí emulzi. Většina strojů je vybavena dvojitým chladicím okruhem:

1. Nízkotlakým - zabezpečuje chlazení oplachem o tlaku 6 bar a průtoku až 60 l/min
2. Vysokotlakým - je napojen na chlazení středem nástroje, zde se běžně pohybujeme mezi 20-70 bary.

Dopravník třísek

Dopravník třísek (Obr. 7) slouží k automatickému a bezpečnému odvodu třísek z prostoru stroje na připravené místo (zpravidla do bedny nebo kontejneru) kde jsou třísky skladovány. Po naplnění kapacit zásobníku jsou dále transportovány směrem k odvozu k recyklaci.

Rychlé odvedení třísek z prostoru stroje je také důležité z důvodu sálavého tepla jenž třísky produkují. Součástí dopravníku je i čerpadlo do které ho je svedena použitá chladicí emulze od obrábění a které zajišťuje její návrat do agregátu na chladicí emulzi kde proběhne její vyčištění pro opětovné použití.



Obr. 7) Dopravník třísek [4]

ATC

Z anglického Automatic Tool Change – automatická výměna nástrojů, je vzhledem ke snahám minimalizovat manuální úkony obsluhy a maximálně automatizovat obráběcí proces zvláště v posledních letech velmi oblíbená. V praxi se užívá dvou různých systémů:

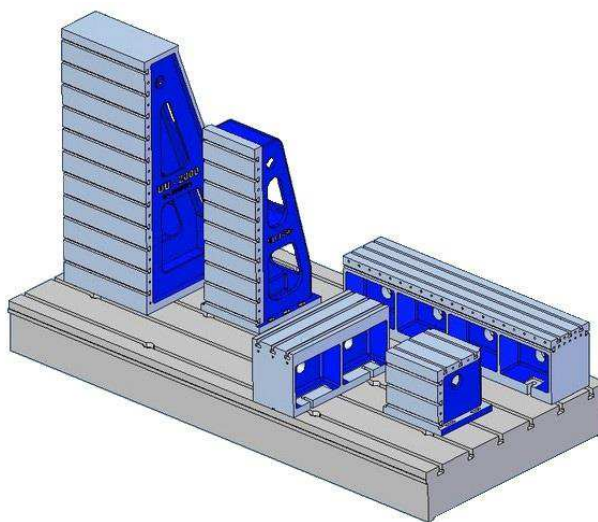
1. Jednouúčelový zásobník nástrojů s podávací rukou – jedná se o zařízení na boku stojanu které se skládá z pojízdného řetězu v němž jsou umístěny nástroje a manipulační ruka zajišťující výměnu nástroje mezi vřetenem a řetězovým dopravníkem. Kapacita tohoto řešení je omezena délkou dopravníkového řetězu a umožňuje skladování 20 až 120 nástrojů.

2. Robotická výměna – v tomto případě je zásobník nástrojů umístěn na základ mimo stroj samotný a o manipulaci s nástroji se stará robotické rameno Kuka. Toto řešení umožňuje uskladnění až 210 nástrojů ale jeho nevýhodou je větší prostorová náročnost a také vyšší pořizovací cena.

Úhelníky, desky

Nezbytným příslušenstvím deskových horizontálních vyvrtávaček jsou upínací desky tvořící deskové pole. Deskové pole umožňuje upnout jak obrobek samotný, tak jiné upínací přípravky pomocí přesně obroběných normalizovaných drážek tvaru T.

Pro upnutí obtížně upnutelných obrobků se dále využívají upínací úhelníky (Obr. 8) které umožní upnutí na rovinu kolmou k ose vřetene.

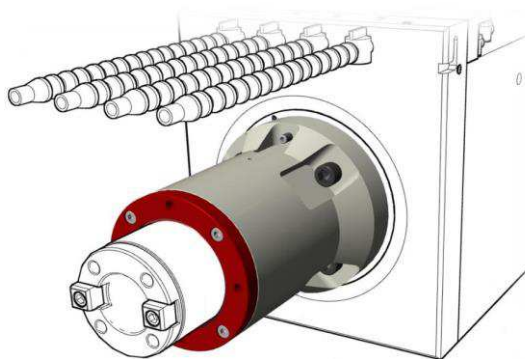


Obr. 8) Sada úhelníků na deskovém poli [5]

Zpevňovací příruba

Zpevňovací příruba (Obr. 9) slouží ke zpevnění vysunutého vřetena čehož se využívá při frézování kdy řezná síla působí kolmo na osu rotace. Se zpevňovací přírubou se dosahuje vyšší tuhosti a pevnosti při obrábění což umožňuje změnu řezných podmínek a vyšší produktivitu práce.

Uchycení příruby se provádí pomocí šroubů k dutému vřetenu a příruba tak vykonává rotační pohyb současně s vřetenem.



Obr. 9) Zpevňovací příruba [6]

2.4.5 Další stroje

Mimo horizontálních vyvrtávaček se skupina Fermat zabývá vývojem a výrobou brusek, frézovacích center, v menší míře poté portálových frézek a karuselů.

3 ANALÝZA SYSTÉMU MANAGEMENTU KVALITY

Management kvality společnosti Fermat stojí na 6 základních pravidlech:

Firemní kultura

Důsledné budování firemní kultury je předpokladem růstu celé společnosti a umožňuje cílené upevňování postavení společnosti na trhu. Základem firemní kultury je uspokojení požadavku zákazníka dodáváním vysoce kvalitních produktů.

Efektivita procesů

Řízení a sledování všech procesů společnosti má za cíl plnění potřeb našich zákazníků. Řízení a sledování všech procesů společnosti má za cíl plnění potřeb našich zákazníků.

Růst kvality

Základem růstu kvality našich produktů je koncepční rozvoj celé společnosti a všech výrobních závodů. Cílem těchto činností je vytvářet podmínky pro výrobky se špičkovými parametry plně srovnatelné s konkurenčními výrobci.

Mezinárodní spolupráce

Pro stabilní kvalitu a cenovou politiku jsou naše produkty žádané také v zahraničí. Proto i zde rozvíjíme svá zastoupení, která nám pomáhají bezprostředně reagovat na požadavky našich zákazníků.

Aktivní přístup

Aktivní přístup všech pracovníků je základním prvkem rozvoje společnosti a vhodné principy motivace pak pomáhají ke stabilizaci kvalitních pracovních kolektivů společnosti. Každodenní působení, výcvik a výchova pracovníků vede k dodržování výrobní a technologické kázně a je hlavní zásadou řízení společnosti.

Trvalé zlepšování

Trvalým zlepšováním všech procesů společnosti vytvářet základní rámec pro dosahování vysoké kvality a spokojenosti zákazníků. [7]

Ačkoliv firma Fermat není držitelem certifikátu ČSN EN ISO 9001, tak si vrcholový management uvědomuje přínos systémového řízení kvality a snaží se vybrané myšlenky této normy začlenit do běžného chodu firmy. Z důvodu snazší implementace vznikla i příručka kvality ze které jsou vybrané pasáže následně uvedeny.

3.1 Odpovědnost vedení organizace

3.1.1 Závazek vedení organizace

Mezi povinnosti vrcholového vedení při zabezpečení systému kvality patří:

- A/ plní požadavky zákazníka, zákonné požadavky a požadavky předpisů
- B/ vytváří politiku kvality
- C/ zajišťuje stanovení cílů kvality, a to jak krátkodobých tak dlouhodobých
- D/ provádí přezkoumání vedením
- E/ zodpovídá za zabezpečení zdrojů a jejich využívání
 - pracovníků společnosti
 - finančních zdrojů

3.1.2 Politika kvality

Vedení společnosti stanoví s ohledem na dlouhodobou strategii rozvoje společnosti koncepci tohoto rozvoje, tzv. politiku kvality, která poskytuje základní rámec pro stanovení cílů kvality.

Politika kvality je sestavena tak, aby:

- odpovídala účelu organizace
- obsahovala hlediska rozvoje společnosti
- umožňovala vývoj a zlepšování kvality činností a služeb
- zabezpečovala péči o zákazníka a rozvoj dodavatelů
- zvyšovala růst odbornosti a motivaci pracovníků.

Aktuálnost této politiky kvality ředitel společnosti každoročně posuzuje při hodnocení vedením. V případě změny politiky kvality zajistí vydání nové politiky kvality. S politikou kvality a cíli kvality společnosti jsou seznamováni pracovníci společnosti formou jejího zveřejnění (vyvěšení).

Cíle kvality

Základním nástrojem k naplnění a dosažení politiky kvality společnosti jsou cíle kvality. Centrální cíle společnosti stanoví vedení společnosti na základě plánovaného rozvoje (strategie) společnosti. Na jejich základě navrhnou své cíle jednotlivé závody. Míru jejich shody s celofiremním rozvojem před schválením posuzuje vrcholové vedení společnosti. Odsouhlasené cíle závodu si vydává každý závod samostatně. Jejich plnění si průběžně sleduje vedení závodu a pravidelně je hodnoceno a posuzováno i vrcholovým vedením společnosti. Stanovené cíle se dle povahy dělí na krátkodobé a dlouhodobé.

Dlouhodobé cíle mají podobu projektových nebo podnikatelských plánů na období cca 3 – 5 let. Jde o strategické /výhledové / plány rozvoje společnosti. Jsou zpravidla strategického charakteru, slouží pouze pro vrcholové vedení k sestavování krátkodobých cílů. Pracovníci s nimi zpravidla nejsou seznámeni.

Cíle musí být měřitelné, z důvodu jejich hodnocení. Jsou zaměřeny na zlepšování systému, zvyšování kvality produktu, snižování nákladů a snižování reklamací atd. Při seznámení pracovníků s cíli společnosti zdůrazňuje vedoucí kvality jejich podíl při plnění daného cíle a důsledky plynoucí z jejich neplnění. Vrcholové vedení společnosti pravidelně vyhodnocuje plnění všech cílů (jednotlivých závodů) minimálně 1x ročně při přezkoumání vedením.

Plánování systému řízení kvality

Za plánování systému řízení kvality společnosti, procesů ve společnosti, jejich vzájemných vazeb a integrity, včetně všech změn tohoto systému zodpovídá vedení společnosti.

Cílem plánování systému řízení kvality je:

- poskytovat informace zaměstnancům o požadavcích zákazníka za účelem zvyšování spokojenosti zákazníka (např. formou školení a pod.)
- zabezpečit prověření zákonných požadavků vztahujících se k danému produktu, odpovědnosti za výrobek a jeho uvádění na trh, plnění BOZP, hygienických předpisů. Po kontrolách provedených státními orgány realizuje nápravu zjištěných nedostatků
- Zabezpečit plnění úředních požadavků souvisejících se zabezpečením chodu organizace a předmětu činnosti.

3.1.3 Vnitřní komunikace

Cílem komunikace je zabezpečit správné fungování všech procesů a včasné a kvalitní plnění požadavků zákazníka, jako i plnění legislativních požadavků a norem.

Předávané informace jsou dle charakteru rozděleny na

- **Strategické:** nejsou dostupné pracovníkům společnosti, o seznámení s nimi rozhoduje majitel společnosti (podnikatelský plán, obchodní politika, ekonomická analýza....)
- **Důvěrné:** slouží pro informaci pouze řídících pracovníků (informace o zákaznících, hodnocení dodavatele,)
- **Obecné:** slouží k informaci všem pracovníkům společnosti

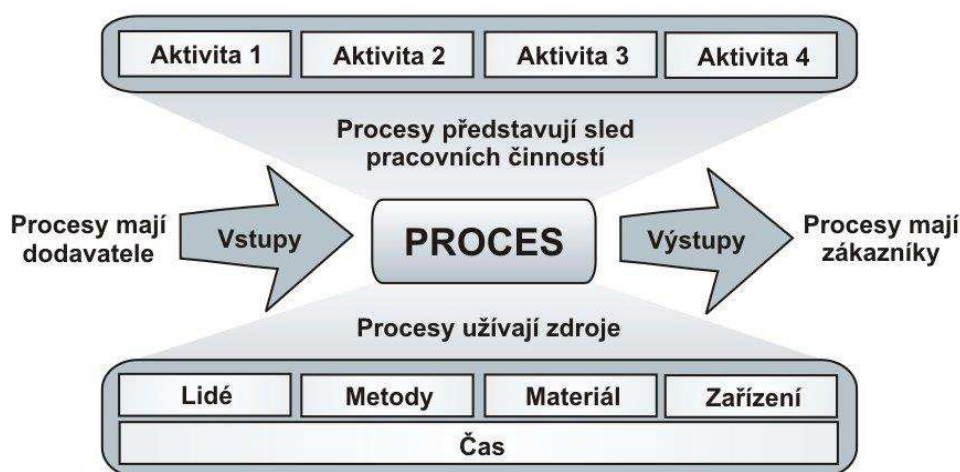
4 MAPOVÁNÍ PROCESŮ

4.1 Teorie

Pojem proces ve svých publikacích definuje řada různých autorů. Mezi všeobecně uznávané definice patří ta od Prof. Ing. Václava Řepy, CSc, podle které je proces souhrnem činností transformujících souhrn vstupů do souhrnu výstupů pro jiné lidi nebo procesy, používající k tomu lidi a nástroje. Znázornění procesu na obrázku 10.

Obecně můžeme proces charakterizovat pomocí následujících rysů:

- jeho funkčnost je závislá na jeho procedurách a zdrojích
- má interní nebo externí vstupy či dodavatele a interní nebo externí zákazníky
- probíhá opakovaně a sekvenčně
- lze jej dále dekomponovat na subprocessy a aktivity
- jeho výstupy jsou definovatelné a předvídatelné
- má lineární a logickou posloupnost



Obr. 10) Znázornění procesu [8]

4.2 Průběh zakázky

Ač je prakticky každý stroj originálem a každý zákazník vyžaduje specifický přístup tak můžeme průběh zakázky firmou rozdělit do několika základních procesů které se vždy opakují.

4.2.1 Prvotní kontakt

Začátkem každé zakázky je kontakt mezi budoucím zákazníkem a obchodníkem. Ten může inicializovat každá ze stran. Úkolem obchodníka je v této fázi zpracovat potřeby a tužby zákazníka, navrhnout mu optimální řešení a vytvořit jednoznačnou smlouvu.

Již v této fázi je potřeba případné nestandardní části prokonzultovat s dalšími odděleními firmy aby nedošlo v pozdější fázi procesu návrhu k zjištění zásadních problémů, ať už konstrukčních, montážních či termínových.

4.2.2 Tvorba specifikace

Na základě smlouvy a údajů v ní uvedených následně vzniká specifikace. Jedná se o interní dokument který ve standardizovaném formátu přehledným způsobem uvádí veškeré potřebné parametry a informace pro následující procesy.

Hlavním důvodem potřeby vzniku tohoto dokumentu je špatná přehlednost, různorodost a horší dostupnost smlouvy samotné. Specifikace je svým způsobem zadáním pro všechny budoucí procesy a proto je její přesnost a bezchybnost zcela zásadní.

4.2.3 Konstrukce stroje

Po vydání specifikace se zahajují konstrukční práce, jejichž cílem je vydat soubor artiklů (kusovník) stroje splňujícího parametry specifikace. Náročnost tohoto procesu se zásadním způsobem liší dle specifikace konkrétního stroje.

Pro vytvoření výkresové dokumentace se využívá 3D CAD software Audek Inventor.

4.2.4 Plánování

Vydané soubory (artikly) zpracovává oddělení plánování které dle kapacit a možností určí termínově zařazení projektu.

4.2.5 Výroba a nákup

Dle specifikace konstrukce a naplánovaných termínů jsou jednotlivé artikly svépomocí vyrobeny a nebo nakoupeny (v závislosti na jejich povaze).

V případě nakupovaných artiklů probíhá poptávání u různých dodavatelů (umožňuje-li to povaha artiklu) a vyjednávání konečné ceny.

U vyráběných artiklů se zpravidla využívá kapacit vlastních obrobů. V případě nedostatečné kapacity a nebo technického omezení se přistupuje ke kooperaci.

4.2.6 Montáž

Následujícím logickým krokem je montáž stroje. Ta v první fázi probíhá vždy v montážní hale firmy Fermat, kde také probíhá kontrola funkčnosti, geometrických tolerancí a dodržení specifikace. Součástí kontroly je i záběh stroje.

Ukončením montáže zpravidla bývá předpřejímka což je proces, kdy zákazníkovi (nebo jeho zástupci) bývá předvedena funkčnost a přesnost stroje. Součástí předpřejímky mohou být i obráběcí zkoušky. Podrobněji viz níže.

4.2.7 Expedice

Po uvolnění stroje k expedici probíhá demontáž na expedovatelné celky. Druh samotné expedice a s tím související konzervace expedovaných dílů se liší dle cílové destinace. Dva základní způsoby jsou:

Kamionová – používá se v rámci Evropy

Kombinovaná – kamionová + lodní – pro mimoevropské cíle.

4.2.8 Montáž u zákazníka

Po doručení celků k zákazníkovi proběhne finální montáž na určeném místě. Ta je ukončena převímkou – proces kdy zákazník převímá stroj ve stavu v jakém je a tím dojde k naplnění smlouvy. Příklad stroje u zákazníka na obrázku 11.



Obr. 11) Stroj WRF po finální montáži u zákazníka [1]

4.2.9 Servis

V případě potřeby je pro potřeby zákazníka připraven záruční i pozáruční servis. Fermat také poskytuje plnou podporu při dodávce náhradních dílů pro všechny dodávané stroje.

4.2.10 Další služby

Mezi další služby patří například školení obsluhy stroje nebo technologická podpora obrábění (obrázek 12a). Vzhledem k existenci oddělení použitých strojů může Fermat v případě potřeby zákazníka zajistit i odkoupení a pře prodej použitého stroje.



Obr. 12) Příklad obrábění u zákazníka – obrobek je díl větrné elektrárny [9]

5 NÁVRH OPTIMALIZACE PROCESU

5.1 Volba vhodného procesu

Každý z předchozích procesů je pro správný chod zakázky firmou důležitý, avšak různé procesy poskytují různé možnosti optimalizace a mají v konečném důsledku různou váhu.

S přihlédnutím k neustálé expanzi firmy a vývoji během posledních let jsem jako vhodný proces pro optimalizaci shledal montáž stroje WRF.

Vzhledem k omezeným montážním kapacitám (Obr. 13) je tento proces jedním s úzkých míst celé zakázky a značnou měrou v případě většího počtu vyráběných strojů přispívá k oddalování celkového termínu předání stroje.



Obr. 13) Pohled na montáž strojů WRF [10]

5.2 Současný stav

V současnosti je montáž rozdělena do 2 základních částí.

1. Montáž vřeteníku a hlav (jsou-li součástí stroje)

Vřeteník, jakožto funkční základ každé horizontální vyvrtávačky je technicky, výrobně i montážně nejsložitější. Z těchto důvodů jsou díly nutné pro montáž vřeteníku vyráběny přednostně a i jeho samotná montáž probíhá na odděleném pracovišti.

Současně s montáží vřeteníku na dalším odděleném pracovišti probíhá i montáž hlav.

Vzhledem k povaze montovaných funkčních celků lze po ukončení jejich montáže provést základní kontrolu a záběh.

2. Montáž stroje

Ještě před dokončením montáže vřeteníku se na oddělené hale zahájí montáž samotného stroje. Postupně jsou dle možností montážních kapacit a stavu vyráběných dílů naváženy klíčové komponenty jako jsou: stojan Y, ATC, lože V, saně B, saně Y ad. Následně probíhá jejich montáž. Na finální montáž je taky v potřebný čas dovezen hotový vřeteník a případně i frézovací hlavy.

5.3 Volba vhodného optimalizačního nástroje

Pro optimalizaci zvoleného procesu můžeme volit z řady méně či více vhodných nástrojů. Jsou jimi například:

5.3.1 Lean manufacturing (štíhlá výroba)

Prvními průkopníky štíhlé výroby byly například Henry Ford nebo Tomáš Baťa, historicky se ale první systematické zavedení připisuje firmě Toyota jenž se díky svému Toyota Production Systém (TPS) dostala po druhé světové válce z krize a byla schopná konkurovat americké produkci osobních vozů. [11]

Štíhlá výroba má několik metod, myšlenek a nástrojů, které napomáhají odstranění různých druhů plýtvání. Patří mezi ně například: JIT (Just in time) která je zaměřena na minimalizaci zásob, Jidoka jenž se zabývá automatickou detekcí chyb nebo například Poka-Yoke která preventivními opatřeními počet chyb minimalizuje. Pro naše účely je ale nejvhodnějším nástrojem štíhlé výroby VSM – Value stream mapping. [12]

Value Stream Mapping (Mapování toku hodnot)

Tato metoda využívá grafického zobrazení toku hodnot, který může být finanční, materiálový, informační nebo jiný a pomáhá hlubšímu pochopení celého toku produkčních procesů a jeho návaznost na systém řízení organizace, plánování a požadavky zákazníka. Prakticky umožňuje tato metoda identifikovat možné příčiny zbytečného plýtvání zdrojů.

5.3.2 Six Sigma

Původní koncept metody Six Sigma vznikl v 80. letech u americké společnosti Motorola. Ta jí zavedla jako odpověď na silný nástup japonské konkurence. Výsledkem bylo, že během prvních deseti let po zavedení se zisky ročně zvyšovaly o 20%, došlo k drastické úspoře nákladů a ročnímu růstu akcií o 20%.

Základním cílem této metody je provádět měření, jenž se zaměřuje na zlepšování procesů a snižování variace. K tomu slouží dvě metodiky:

DMAIC – define, measure, analyze, improve, control (definovat, měřit, analyzovat, zlepšit, kontrolovat) – pro zlepšování stávajících procesů.

DMADV – define, measure, analyze, design, verify (definovat, měřit, analyzovat, navrhnout, ověřit) – pro vývoj nových postupů. [13]

5.3.3 Analýza síťových grafů

Síťový graf zobrazuje projekt formou diagramu který vyjadřuje vazby mezi dílčími činnostmi. Časově zaměřené nástroje k jeho analýze:

Metoda CPM – Critical Path metod (metoda kritické cesty)

Využívá se k transformaci síťového grafu na časový harmonogram. Metoda byla vymyšlena v 50. letech jako matematický model, jenž počítal celkové trvání projektu se vzájemně provázanými činnostmi.

Metoda využívá odhalení kritické cesty, což je nejkratší možná délka trvání projektu. Tu tvoří kritické činnosti které na sebe bezprostředně navazují. Opozdí-li se tedy některá z činností na kritické cestě tak dojde k prodloužení doby realizace celého projektu. [14]

Metoda PERT – Program Evaluation and Review Technique

Metoda PERT vznikla zobecněním metody CPM. U metody PERT chápeme dobu každé dílčí činnosti jako náhodnou proměnnou mající určité rozložení pravděpodobnosti. Tím je tato metoda nejvhodnější pro řízení složitých akcí mající stochastickou povahu.

Po určení kritické cesty jsme tak schopni vypočítat nejen dobu jejího trvání ale také pravděpodobnost dodržení plánovaného termínu. [15]

Jelikož je základním problémem montáže stroje WRF plánování montážních a výrobních kapacit a při různorodosti jednotlivých projektů můžeme hovořit o stochastické povaze tak je jako ideální optimalizační nástroj zvolena analýza síťového grafu metodou PERT.

Výsledkem by tak mělo být lepší plánování výroby, přesnější znalost potřebného termínu návozu klíčových dílů, možnost efektivnějšího dělení pracovníků a přesnější řízení celkové produkce.

5.4 Postup metody PERT

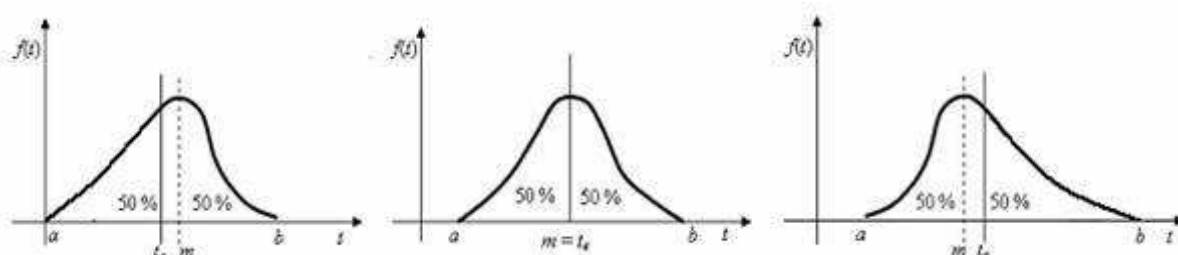
Pro co nejpřesnější výsledek metody PERT je důležitý správný počáteční odhad doby trvání u jednotlivých činností, ze kterých se optimalizovaný proces skládá.

Momenty beta rozdělení se vypočítávají na základě odhadů expertů daného oboru, kteří dovedou odhadnout rizika a podmínky realizace dílčích činností, za které nesou odpovědnost. [16]

Tyto odhady se stanovují ve třech časových charakteristikách:

- Optimistický odhad a uvažuje nejkratší možnou dobu trvání činnosti s hypotetickou četností 1:100 (znamená, že kdybychom onu činnost dělali 100x za stejných podmínek, tak by se ji podařilo v čase a realizovat právě jednou).
- Modus m je nejpravděpodobnější odhad doby trvání činnosti
- Pesimistický odhad b uvažuje nejdelší dobu trvání činnosti s hypotetickou četností 1:100

Na základě tří předešlých odhadů lze zkonstruovat hypotetickou křivku funkce hustoty pravděpodobnosti – pro každý odhad zvlášť (Obr. 14).



Obr. 14) Křivky funkce hustoty pravděpodobnosti pro jednotlivé odhady [16]

Základní vztahy:

Hustota pravděpodobnosti:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = 1 \quad (1)$$

Očekávaná doba trvání dané činnosti:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (2)$$

Rozptyl (variace, disperze):

$$\sigma_{t_n}^2 = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2 \quad (3)$$

Směrodatná odchylka:

$$\sigma_{t_n} = \frac{b - a}{6} \quad (4)$$

V případě, že je činnost určena pouze optimistickým odhadem (a) a pesimistickým odhadem (b), určíme číselné charakteristiky takto:

Očekávaná doba trvání dané činnosti:

$$t_e = \frac{3a + 2b}{5} \quad (5)$$

Rozptyl:

$$\sigma_{t_n}^2 = \frac{(b - a)}{5} \quad (6)$$

Směrodatná odchylka:

$$\sigma_{t_n} = \frac{b - a}{5}$$

Analýza pravděpodobnosti dodržení plánovaného termínu

Odhad pravděpodobnosti:

$$P(T \leq T_P) = F\left(\frac{T_P - T_E}{\sigma_{T_E}}\right) \quad (7)$$

Kde je:

T_P – plánovaný termín ukončení celého úkolu
 T_E – očekávaný termín realizace celého úkolu

5.5 Definování procesů

Abychom mohli proces montáže horizontální vyvrtávačky Fermat WRF 160 zpracovat pomocí metody PERT, tak jej musíme rozdělit na logické části. Ty jsou voleny s ohledem na technologii montáže a struktury podsestav.

Jako referenční stroj je volena typická sestava stroje WRF 160 s automatickou hlavou UHAmi 30, zásobníkem nástrojů ATC a otočným stolem.

5.5.1 Přehled činností montáže stroje WRF 160.

A) Ustavení lože X

Lože osy X umožňuje příčný pojezd stojanu, jeho správné ustavení je zcela zásadní pro budoucí geometrii stroje. Ustavení se skládá z přípravy kotvících otvorů a instalace nivelačních prvků, na které se poté umístí samotné lože. Na lože se následně namontuje lineární vedení, které je za pomoci laseru a nivelačních prvků vyrovnáno do požadované přesnosti.

B) Předmontáž kuličkových šroubů

Kuličkové šrouby slouží k pojezdu vřeteníku v ose Y a výsuvu smykadla v ose Z. Jejich předmontáž se skládá z přípravy ložiskových domků, montáže axiálně-radiálního ložiska ZARN a montáže kuličkové matky.

C) Předmontáž osy Y

Osa Y (stojan) se v horizontální poloze (Obr. 15) osadí lineárním vedením, předpřipravenými kuličkovými šrouby a rozvody mazání.



Obr. 15) Stojan připraven pro předmontáž

D) Montáž otočného stolu

Kolmo na lože osy X je usazeno lože osy V, na které se po montáži kuličkového šroubu přes lineární vedení namontují saně osy B. Saně osy B nesou křížové ložisko, na kterém se otáčí stolní deska. Dále je nutné namontovat pohony a tukový centrální mazací systém, krytování saní a teleskopický kryt chránící lože a lineární vedení. Průběh montáže viz obrázek 16.



Obr. 16) Otočný stůl před montáží ložiska a stolní desky

E) Montáž osy Y (stojan)

Předpřipravený stojan se postaví do svislé polohy a usadí na lineární vedení osy X. Po prvním usazení a naměření odchylky stojanu od svislé osy se přesně dobrousí podložky mezi vozíky lineárního vedení a základnou stojanu, čímž se celý stojan vůči ose X vyrovná do požadované přesnosti.

F) Montáž vřeteníku

Vřeteník je pro svoji specifickou montován v oddělených prostorách, kde se postupně do těla smykadla uloží duté vřetení, pracovní vřetení, ložiska, upínání, motor s převodovkou, řemenice, hnací řemeny a další nezbytné komponenty. Součástí montáže vřeteníku je i instalace rozvodů chlazení ložisek a mazání převodovky. Montáž vřeteníku je ukončena záběhem, kde se stav vřeteníku diagnostikuje pomocí snímání teploty hlavních ložisek.

Při montáži vřeteníku stroje WRF se také kompletují saně vřeteníku, na kterých je vřeteník pomocí lineárního vedení uchycen.

G) Montáž hlavy

Montáž hlavy probíhá, stejně jako montáž vřeteníku, v samostatné části haly. Montáž hlavy obecně spočívá v osazení ložisek, hřídelí, ozubených kol a upínání do odlitého těla (těl) hlavy. Délka a složitost montáže je odvislá od specifikace hlavy. Další nezbytnou částí frézovací hlavy je její adaptér, jenž slouží jako mezikus mezi hlavou a vřeteníkem.

Montáž hlavy je ukončena jejím záběhem na záběhové stolici, kde se snímají různé parametry, čímž se vyhodnocuje její stav.

H) Montáž vřeteníku na osu Y

Kompletní sestava saní a vřeteníku se přimontuje k předpřipravenému lineárnímu vedení osy Y, připravené matky kuličkových šroubů se spojí se saněmi.

I) Příprava energonosičů

Ergonosiče slouží k vedení hadic a kabelů k posuvným částem stroje. Jejich příprava spočívá v kompletaci jednotlivých článků a jejich vzájemném spojování na určenou délku dle délky pojezdu. Dále je předpřipravený energonosič naplněn hadicemi pro budoucí rozvody kapalin.

J) Montáž energonosičů

Po instalaci základních částí stroje se jednotlivé pohyblivé celky spojí předpřipravenými energonosiči.

K) Montáž elektrorozvodů

Mezi rozváděcí elektro skříní stroje a všemi elektronickými prvky je nataženo elektrické vedení. Hlavní silové vodiče vedou k hlavnímu motoru vřeteníku, dále se napájí všechny potřebné servo motory pro pojezdy os. Vedení také zajišťuje zpětnou vazbu od jednotlivých snímačů polohy, koncových snímačů, teplotních senzorů atd. Hlavní řídicí panel stroje je umístěn v kabině obsluhy. Pro vedení vodičů se užívají energovodiče a koryta po pevných částech stroje.

L) Montáž kabiny

Kabina obsluhy je včetně jejího nosného rámu připevněna na osu Y. Součástí rámu je i hydraulický válec zajišťující zdvih kabiny. Do prostorů kabiny je dále namontován řídicí panel s operačním systémem stroje.

M) Montáž příslušenství, chillerů a hydraulických agregátů

Na konzoly připevněné k ose Y se montuje výměník nástrojů (je-li požadován), hydraulický agregát, chiller pro chlazení ložisek a převodovky, případně i elektroskříň.

N) Montáž krytování

Krytování plní dvě základní funkce:

1. Chrání citlivé strojní části jako je lineární vedení, kuličkové šrouby aj.
2. Tvoří design stroje

Montáž krytování spočívá v instalaci připravených plechových nebo laminátových panelů na rám stroje.

O) Oživení stroje

Spočívá v instalaci řídicího systému do panelu obsluhy a instalaci všech potřebných PLC programů. Výsledkem oživení stroje je stroj schopný pojezdu v jednotlivých osách se všemi funkčními periferiemi.

P) Montáž hlavy na vřeteník

Frézovací hlavu (Obr. 17) je potřeba na konkrétní vřeteník přesně dolícovat – k tomu slouží zaškrabání styčných ploch tak, aby byla hlava po upnutí geometricky způsobilá.



Obr. 17) Frézovací hlava UHAmi 30 po montáži na vřeteník

Q) Geometrie stroje

Pomocí přesné digitální vodováhy a dalších přípravků jsou odchylky pojezdů všech os nastaveny do tolerancí. Hodnoty tolerancí určují normy pro přesnost obráběcích strojů.

R) Záběh stroje

Spočívá v několikahodinovém automatickém zkušebním provozu, při kterém se testují nejrůznější režimy. Během těchto funkčních zkoušek se snímají teploty a hodnoty vytižení motorů, na základě kterých se vyhodnotí celkový stav.

S) Kontrola

Úkolem kontroly je ověřit kompletnost, kvalitu, přesnost a celkovou přípravu stroje pro předpřejímku. V případě shledání závad je stroj společně s protokolem o neshodě předán zpět montáži pro úpravu.

T) Předpřejímka stroje

Je proces, při kterém je zákazník (nebo jeho zmocněnec) seznámen z podobou stroje. Jsou předvedeny všechny základní funkce a provedeno kontrolní měření geometrie dle požadavků zákazníka. Součástí předpřejímky může ve výjimečných případech být i zkušební obrábění. Po úspěšné předpřejímce následuje demontáž a expedice stroje k zákazníkovi.

5.6 Stanovení vztahů mezi činnostmi

Dalším nezbytným krokem před vytvořením síťového grafu je stanovení vztahů mezi jednotlivými činnostmi. V následující tabulce jsou u každé činnosti uvedeny činnosti bezprostředně předcházející. To znamená, že daná činnost nemůže být zahájena, pokud nejsou všechny předchozí činnosti řádně ukončeny.

Tab 4) Vztahy mezi jednotlivými činnostmi

Činnost	Bezprostředně předcházející činnosti	Činnost	Bezprostředně předcházející činnosti
A	-	K	J
B	-	L	H,I,M
C	B	M	F,E
D	B	N	D,L,K
E	A,C	O	D,L,K
F	-	P	O,G
G	-	Q	P
H	E,F	R	Q
I	-	S	R,N
J	H,I,M	T	S

5.7 Stanovení dob trvání

Jelikož je každý motážní proces něčím specifický a k dispozici není dostatek dat, ze kterých by se dalo čerpat, tak pro stanovení dob trvání jednotlivých činností využijeme odborného odhadu.

Pro odhad byli osloveni různí pracovníci mající zkušenosti s montáží stroje WRF a jeho dílčích částí z různých pozic. Sesbíraná data jsou uvedena v následující tabulce. Pro výpočet budeme uvažovat nejmenší a největší hodnotu jako hodnotu pesimistickou a optimistickou.

Tab 4) Odhad dob trvání jednotlivých činností

Činnost	Odhad doby trvání [hod.]			
	Respondent 1	Respondent 2	Respondent 3	Respondent 4
A	16	12	15	-
B	16	10	16	12
C	40	40	50	40
D	100	80	70	75
E	3	4	3	8
F	220	160	-	200
G	160	150	120	-
H	2	4	4	3
I	24	16	16	-
J	24	20	12	20
K	16	16	12	24
L	6	5	10	8
M	16	16	16	10
N	30	24	32	40
O	16	8	8	-
P	8	8	10	12
Q	20	15	16	16
R	50	40	50	-
S	35	40	30	-
T	25	25	15	10

Zeleně je u každé činnosti vyznačen nejoptimističtější odhad, červeně nejpesimističtější.

Pro přesnější hodnoty by bylo vhodné provést u pár referenčních projektů měření doby trvání jednotlivých činností a naměřené údaje statisticky zpracovat.

5.8 Síťový graf

Síťový graf zobrazuje vzájemné závislosti jednotlivých činností. Každá činnost má vzájemné vazby s předcházejícími, následujícími a souběžnými činnostmi. Síťový graf se skládá z obrazců (obdélník nebo kruh) jenž se označují jako uzly a ze spojníc těchto uzlů, což jsou hrany.

5.8.1 Dělení síťových grafů

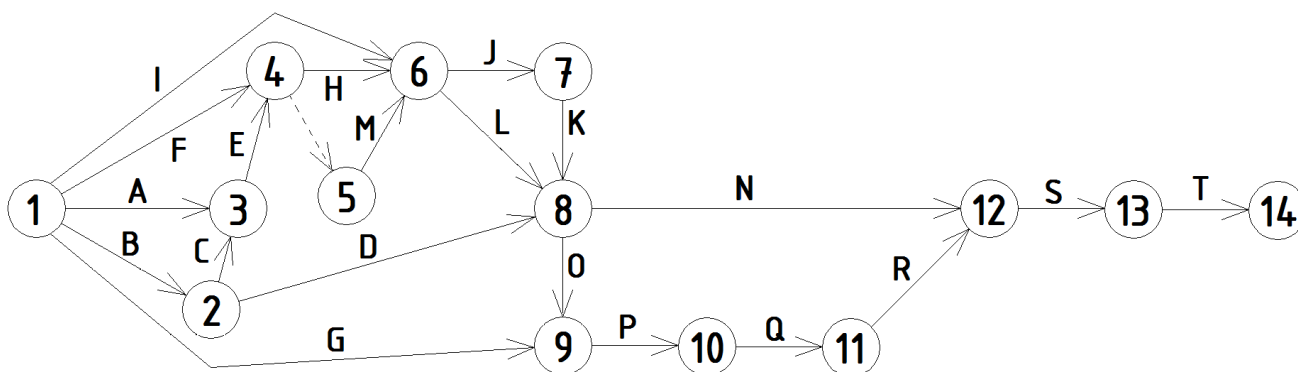
- **Uzlově definovaný** – je model, kde uzly reprezentují jednotlivé činnosti v rámci projektu zatímco hrany vyjadřují vazby mezi těmito činnostmi.
- **Hranově definovaný** – je model, kde hrany grafu reprezentují činnosti projektu. Uzly grafu pak představují události – tím rozumíme začátek a konec jednotlivých činností.

5.8.2 Pravidla pro sestavení síťového grafu

- Graf musí mít jeden počátek ze kterého hrany pouze vystupují a jeden konec, do kterého hrany pouze vstupují.
- Každá činnost může být zahájena jen tehdy, jsou-li dokončeny všechny činnosti předcházející.
- Souběžné činnosti musí být z důvodu jednoznačné identifikace odděleny fiktivní činnostmi (v grafu čárkovaně).
- Délky hran neodpovídají dobám trvání činností
- Uzly jsou číslovány tak, aby platilo $i < j$.
- Graf nesmí obsahovat cykly.

5.8.3 Sestavení síťového grafu montáže WRF

Na základě uvedených pravidel a se znalostmi činností a jejich vztahů byl vytvořen síťový graf procesu montáže stroje WRF (Obr. 18)



Obr. 18) Síťový graf

Ze síťového grafu je patrné, že proces montáže tvoří 14 uzlů. Mezi těmi jsou hrany představující jednotlivé činnosti. Proces začíná v uzlu č.1 a končí v uzlu č.14, jelikož lze trasu

mezi těmito uzly absolvovat po různých hranách tak je pro další postup potřeba určit hrany kritické cesty.

5.9 Kritická cesta

Znalost kritické cesty slouží ke stanovení doby trvání projektu. Kritická cesta je definována jako nejdelší možná cesta z počátečního bodu grafu do koncového bodu grafu. Každý projekt má minimálně jednu kritickou cestu.

Kritická cesta se skládá ze seznamu činností, na které je potřeba se nejvíce zaměřit pokud chceme zabezpečit včasné dokončení celého projektu. Čas ukončení poslední činnosti na kritické cestě je zároveň termínem ukončení celého projektu. Pro kritické činnosti platí, že jejich celková časová rezerva je rovná nule, tzn., že zdržení počátku této činnosti nebo prodloužení doby jejího trvání bude mít vliv na celkovou dobu trvání projektu. Naopak také platí, že zrychlení prací na kritické činnosti celkovou dobu činnosti zkracuje. V tomto případě je ale možné, že dojde ke změně kritické cesty. Z tohoto důvodu je potřeba dbát také na cesty subkritické, které sice nesplňují definici kritické cesty, ale při změně doby trvání jistých činností se kritickou cestou stát mohou. [14]

Pro zjištění kritické cesty budeme postupovat následovně:

- 1.) Určení nejdříve možných termínů – postup vpřed

$$T_1^m = 0 \quad (8)$$

Výpočet pro ostatní uzly

$$T_j^m = \max(T_i^m + t_{ij}) \quad (9)$$

- 2.) Určení nejpozději přípustných termínů uzlů – postup vzad

Položit

$$T_n^p = T_n^m \quad (10)$$

musí platit

$$T_n^p \geq T_n^m \quad (11)$$

Výpočet pro ostatní uzly

$$T_i^p = \min(T_j^p - t_{ij}) \quad (12)$$

- 3.) Určení časových rezerv činností

Pro $(i, j) \in E$ vypočteme:

$$R_{ij}^c = T_j^p - T_i^m - t_{ij} \quad (13)$$

$$R_{ij}^v = T_j^m - T_i^m - t_{ij} \quad (14)$$

$$R_{ij}^n = \max(0, T_j^m - T_i^m - t_{ij}) \quad (15)$$

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty získané využitím předešlých vzorců (9, 12, 13, 14) a výše uvedených postupů.

Tab 5) Přehled hodnot metody PERT

činnost	i	j	a	b	t_e	$\sigma_{t_n}^2$	R_{ij}^c
A	1	3	12	16	13,6	0,8	165,4
B	1	2	10	16	12,4	1,2	122,6
C	2	3	40	50	44	2	122,6
D	2	8	70	100	82	6	135,6
E	3	4	3	8	5	1	122,6
F	1	4	160	220	184	12	0
G	1	9	120	150	132	6	109,2
H	4	6	2	4	2,8	0,4	9,6
I	1	6	16	24	19,2	1,6	177,2
J	6	7	12	24	16,8	2,4	0
K	7	8	12	24	16,8	2,4	0
L	6	8	5	10	7	1	0
M	5	6	10	16	12,4	1,2	0
N	8	12	24	40	30,4	3,2	51,4
O	8	9	8	16	11,2	1,6	0
P	9	10	8	12	9,6	0,8	0
Q	10	11	15	20	17	1	0
R	11	12	40	50	44	2	0
S	12	13	30	40	34	2	0
T	13	14	10	25	16	3	0

Kde:

i = číslo počátečního uzlu

j = číslo konečného uzlu

a = optimistický odhad [hod.]

b = pesimistický odhad [hod.]

t_e = očekávaná doba trvání dané činnosti [hod.]

$\sigma_{t_n}^2$ = rozptyl

R_{ij}^c = časová rezerva [hod.]

Kritickou cestu určíme jako řetězec uzlů mající nulovou celkovou časovou rezervu ($R_{ij}^c = 0$).

5.9.1 Síťový graf s parametry metody PERT

V následujícím síťovém grafu jsou uvedeny průběžné hodnoty potřebných parametrů metody PERT (Obr. 19).

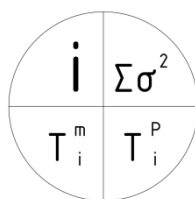
Rozmístění hodnot v uzlech

i – číslo uzlu

$\sum \sigma^2$ - rozptyl

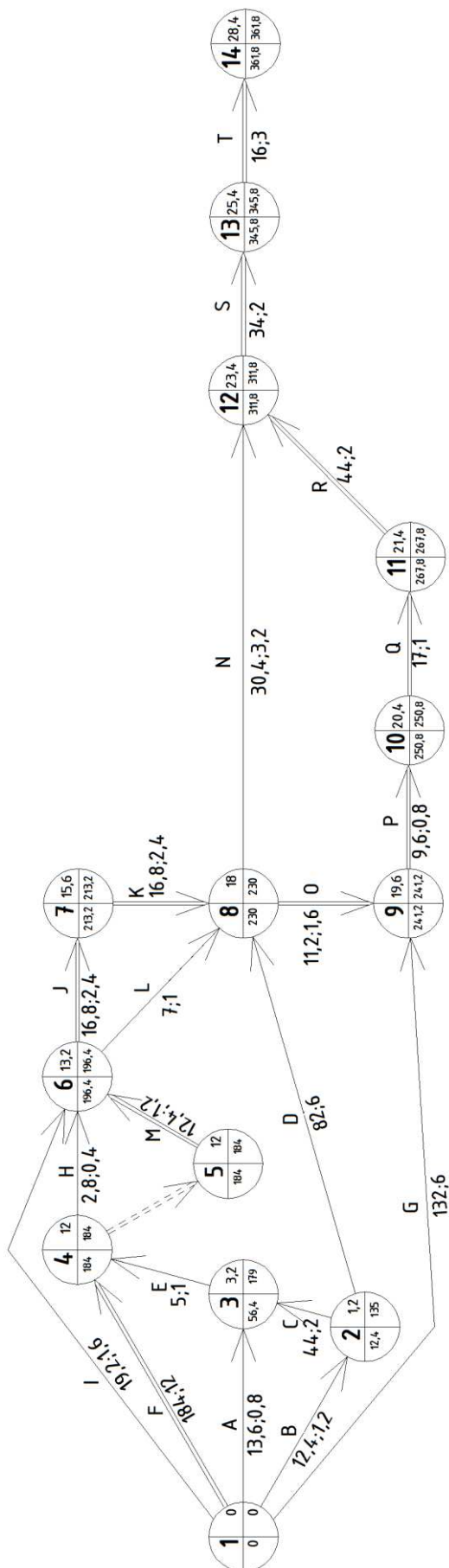
T_i^m – nejdříve možný termín

T_i^P – nejpozději přípustný termín



Obr. 19) Rozmístění hodnot v uzlech

U každé činnosti je dále uvedena její očekávaná doba trvání a vypočítaný rozptyl ($t_e; \sigma_{t_n}^2$).



Obr. 20) Síťový graf s parametry metody PERT

Na základě shodných hodnot pro nejdříve možný a nejpozději přípustný termín byly v grafu identifikovány uzly ležící na kritické cestě. Ta je vyznačena dvojitou čarou a představuje ji řetězec činností F-M-J-K-O-P-Q-R-S-T.

Z grafu odečteme hodnoty pro realizaci celého projektu:

$$T_E = T_{14} = 361,8 \text{ hod}$$

$$\sigma_{T_E}^2 = \sigma_{T_{14}}^2 = 28,4 \Rightarrow \sigma_{T_E} = 5,33$$

5.9.2 Určení doby trvání projektu při zvolené míře rizika

V případě zadaného plánovaného termínu ukončení celého úkolu T_p lze pro odhad pravděpodobnosti, že tento termín bude dodržen užít vztahu (7)

Výpočet distribuční funkce normálové náhodné veličiny u :

$$F\left(\frac{T_p - T_E}{\sigma_{T_E}}\right) = F(u) \quad (16)$$

Jestliže platí:

$$T_p = T_E \quad (17)$$

Pak:

$$P(T_E \leq T_p) = F(0) = 0,50 \quad (18)$$

Což znamená, že můžeme s 50% pravděpodobností čekat, že dojde k dodržení stanoveného termínu.

Jestliže platí:

$$T_p > T_E \quad (19)$$

Pak:

$$u > 0 \text{ a } P(T \leq T_p) > 0,5 \quad (20)$$

Naopak pro:

$$T_p < T_E \quad (21)$$

Platí:

$$P(T \leq T_p) < 0,5 \quad (22)$$

Praxe ukazuje, že pravděpodobnost dodržení plánovaného termínu T_p v rozsahu 0,4-0,6 (tj. 40 – 60%) v dostatečném stupni zabezpečuje realizaci úkolu. Hodnoty převyšující 0,6 (60%) svědčí o nadbytečném využívání zdrojů a hodnoty pod 0,4 (40%) signalizují nutnost lepšího zajištění činností ležících na cestě do daného uzlu. [16]

Na základě výše uvedených poznatků vypočítáme předpokládaný termín dokončení s pravděpodobností 40 a 60%, čímž stanovíme interval, který bude vyjadřovat optimální termín dokončení.

Ze vztahu (17) vyjádříme T_p

$$T_p = T_E + F_{(u)} \cdot \sigma_{T_E} \quad (23)$$

Následně vypočítáme pro konkrétní hodnoty pravděpodobností

$$\begin{aligned} T_{p_{40\%}} &= T_E + F_{(0,4)} \cdot \sigma_{T_E} \\ T_{p_{40\%}} &= 361,8 + (-0,25) \cdot 5,33 \\ T_{p_{40\%}} &= 360,5 \text{ [hod.]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{p_{60\%}} &= T_E + F_{(0,6)} \cdot \sigma_{T_E} \\ T_{p_{60\%}} &= 361,8 + 0,25 \cdot 5,33 \\ T_{p_{60\%}} &= 363,1 \text{ [hod.]} \end{aligned}$$

Interval termínu dokončení vzhledem k optimální pravděpodobnosti tedy je (360,5;363,1) hod.

Protože se pracuje jen s očekávanými dobami trvání činností kritické cesty, je potřeba věnovat zvýšenou pozornost očekávaným sub-kritickým cestám. Důvodem je, že očekávané kritické činnosti se mohou změnit v nekritické a sub-kritické na kritické.

5.10 Dělení na pracoviště

Jelikož celková montáž probíhá na třech montážních pracovištích tak je pro možnost efektivního plánování kapacit jednotlivých pracovišť potřeba dílčí činnosti rozdělit. Pro toto rozdělení a pro lepší názornost využijeme Ganttův diagram.

5.10.1 Ganttův diagram

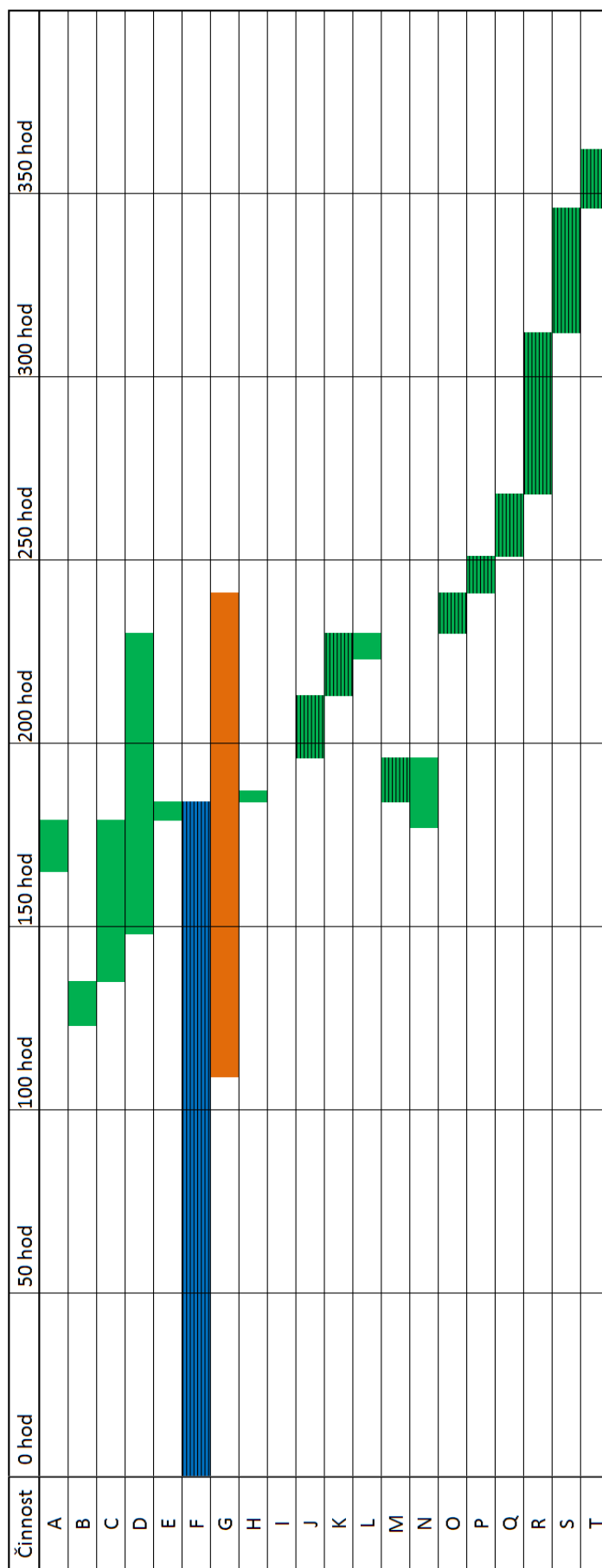
Ganttův diagram je pojmenovaný po H. L. Ganttovi, jenž byl průmyslový inženýr a během první světové války užívání diagramu prosazoval.

Využívá se při řízení projektů pro grafické znázornění a naplňování posloupnosti činností v čase.

Na horizontální ose diagramu je časové období trvání projektu rozdělené do stejně dlouhých časových jednotek (hodiny, dny, týdny...) Na ose vertikální jsou poté vypsány jednotlivé činnosti, ze kterých se projekt skládá.

Na ploše diagramu jsou u jednotlivých činností obdélníky, které představují dobu trvání příslušné činnosti – levá strana znázorňuje počátek činnosti, pravá jeho konec a délka obdélníku dobu trvání činnosti. [17]

Ganttův diagram pro proces montáže stroje WRF (Obr. 21) lze sestavit na základě hodnot ze síťového grafu (Obr. 20).



Obr. 21) Ganttův diagram pro montáž stroje WRF

Barvy činností znázorňují místo montáže kde:

Modrá – montáž vřeteníku

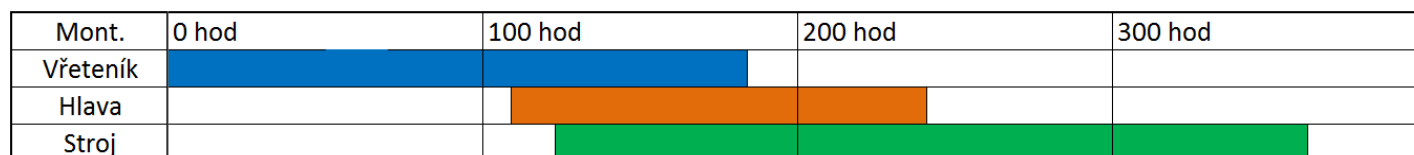
Oranžová – montáž hlav

Zelená – montáž stroje

V Ganttově diagramu jsou činnosti umístěny bez rezerv (tj. tak, že jejich začátek je nastaven na nejpozději přípustný termín). Toto uspořádání nám umožní odhadnout minimální potřebný čas pro jednotlivá pracoviště. Původní kritická cesta je vyznačena podélnými čarami.

Při tomto rozdělení a zminimalizování jednotlivých dílčích časů je potřeba pamatovat na možnou změnu kritické cesty. Pro relevantní plánovací data by bylo potřeba provést analýzu kritické cesty pro každý montážní celek zvlášť.

Rozložení pro jednotlivá pracoviště je znázorněno níže



Obr. 22) Ganttův diagram pro jednotlivá pracoviště

Z tohoto přehledového diagramu který je nadřazený diagramu na obrázku 21 vyplývá, že projekt je potřeba zahájit montáží vřeteníku, v odstupu následuje montáž hlavy a montáž samotného stroje. Přehled číselných hodnot pro plánování jednotlivých pracovišť je uveden v tabulce 6.

Tab 6) Přehled číselných hodnot pro jednotlivá pracoviště

Pracoviště	Začátek činnosti [hod]	Konec činnosti [hod]
Montáž vřeteníku	0	184
Montáž hlav	109	241
Montáž stroje	123	362

Na základě hodnot začátku a konce montáže pro jednotlivá pracoviště můžeme efektivně plánovat montážní kapacity.

5.11 Časová osa stěžejních součástí

Pro zdařilou montáž stroje je potřeba zajistit přítomnost veškerých potřebných dílů v určený čas na daném místě.

Se znalostí nejpozději přípustného začátku jednotlivých dílčích montážních činností jsme schopni efektivně naplánovat jejich nákup a výrobu.

Pro lepší názornost budeme montážní čas počítat místo v hodinách ve dnech, uvažujeme jednosměnný provoz, tzn. že jeden pracovní den má 8 hodin a jeden týden má 5 pracovních dnů. Předpokládanou celkovou dobu trvání projektu tak můžeme určit jako 362 hod = 46 pracovních dní = 9,2 týdnů.

Jako příklad uijeme hydraulický agregát.

Tab 7) Termínové parametry artiklu

Artikl	Hydraulický agregát
Činnost	M
Začátek	184 hod = 23 dní = 4,6 týdnů
Průběžná doba artiklu	10 týdnů
Nejpozději přípustný termín objednání	-5,4 týdnů

V průběžné době artiklu je shrnuta potřebná doba pro jeho konstrukci, výrobu a doručení na montážní pracoviště. Po odečtení průběžné doby od začátku příslušné činnosti dostaneme nejpozdější možný termín objednání artiklu vzhledem k požadovanému začátku celého projektu.

Z tabulky vyplývá, že zvolený artikl je potřeba objednat 5,4 týdnů před plánovaným začátkem montáže.

6 ZÁVĚR

Vzhledem k velké globalizaci, jenž v uplynulých dekáдах na trhu obráběcích strojů proběhla, je pro udržení si čelního postavení nezbytné správné nastavení výrobních procesů umožňující zaručit potřebnou kvalitu při zachování pružnosti.

Cílem této diplomové práce bylo provést návrh optimalizace výrobního procesu v rámci montáže horizontální vyvrtávačky Fermat. Před samotnou optimalizací byla provedena analýza současného stavu a s přihlédnutím k požadovanému výsledku byly zvoleny vhodné optimalizační nástroje.

Prvním krokem optimalizace bylo sestavení síťového diagramu znázorňujícího vztahy mezi jednotlivými činnostmi procesu montáže. Po doplnění časových odhadů byla v grafu nalezena kritická cesta. Samotná znalost kritické cesty umožňuje rozdělení činností do dvou skupin (kritické a nekritické), což může napomoci při rozhodování ohledně priorit (např. při výrobě dílů).

Dále byla na síťový graf aplikována metoda PERT, ta umožňuje výpočet pravděpodobnosti jak pro celkové dodržení termínu, tak i pro konce jednotlivých činností v různé fázi procesu montáže.

Pro lepší přehlednost byl na základě předchozích údajů proces vykreslen pomocí Ganttova diagramu. V něm byly také jednotlivé činnosti rozděleny dle místa jejich montáže. Tyto údaje jsou velmi cenné pro plánování montážních kapacit jednotlivých pracovišť.

Závěrem byl uveden příklad určení potřebného termínu objednání klíčové součásti vzhledem k plánovanému začátku (potažmo konci) montáže.

Tento příklad postupu by měl být jakýmsi ideovým a metodickým plánem, který by bylo vhodné zpracovat pro každý montovaný stroj.

Na základě údajů získaných během uvedeného postupu by mělo být zaručeno lepší plánování výrobních i montážních kapacit, přesnější určení možného termínu předání stroje u zákazníka a efektivnější využívání veškerých zdrojů. Tento přístup by měl přispět k celkovému nárůstu kvality a tím napomoci k udržení pozice společnosti Fermat na poli moderních obráběcích strojů.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Produktový katalog společnosti Fermat*. Brno, 2016
- [2] *Web společnosti Fermat* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z:
<http://www.fermatmachinery.com/products>
- [3] *Web společnosti DeAnrea* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z:
http://www.dandrea.com/en/UTronic_NC_heads_of_medium_and_large_size_for_boring_and_facing_on_boring_machines_and_special_machines_Web
- [4] *Web společnosti Tos Varnsdorf* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z:
<http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/produkty/ostatni-zvlastni-prislusenstvi/dopravnik-trisek/>
- [5] *Web společnosti Tos Varnsdorf* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z:
<http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/produkty/prislusenstvi/upinaci-zarizeni/>
- [6] *Provozní kniha zpevňovací příruby Fermat*. Brno, 2017.
- [7] *Příručka kvality společnosti Fermat*. Brno, 2015.
- [8] GARDNER, Robert. *The process-focused organization: a transition strategy for success*. Milwaukee, Wis.: ASQ Quality Press, 2004. ISBN 978-0-87389-627-6.
- [9] *Foto společnosti Nordmark*. Dánsko, 2016.
- [10] *Archív společnosti Fermat*. Brno, 2017.
- [11] A Brief History of Lean. *Lean Enterprise Institute* [online]. 2009 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.lean.org/WhatsLean/History.cfm>
- [12] Just-In-Time. *TPCA* [online]. 2009 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z:
<http://www.tpca.cz/cz/vyrobni-system-toyota/vyroba/just-in-time>
- [13] PANDE, Peter S., Roland R. CAVANAGH a Robert P. NEUMAN. *Zavádíme metodu Six Sigma: aneb jakým způsobem dosahují renomované světové společnosti špičkové výkonnosti*. Brno: TwinsCom, c2002. ISBN 80-238-9289-4

- [14] DOLEŽAL, Jan, Pavel MÁCHAL a Branislav LACKO. *Projektový management podle IPMA*. 2. aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4275-5
- [15] JIRCHÁŘ, V. *Metoda CPM/PERT: Podkladový materiál pro předmět Základy a teorie grafů* [online]. 2009 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: [http://kmlinux.fjfi.cvut.cz/jahodfra/ztgb/prezentace/cpm pert.pdf](http://kmlinux.fjfi.cvut.cz/jahodfra/ztgb/prezentace/cpm%20pert.pdf)
- [16] VÍTEČEK, A. & WAWRZICZKOVÁ, M. 1988. *Síťová analýza (CPM a PERT)*. Ostrava: FS VŠB – TU Ostrava, 1988.
- [17] JEŽKOVÁ, Zuzana, Hana KREJČÍ, ŠVEC JAROSLAV and Branislav LACKO. *Projektové řízení. Jak zvládnout projekty*. 2013. 381 pp. ISBN 978-80-905297-1-7.

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ

8.1 Seznam zkratk

ATC – Automatic Tool Changer

CAD – Computer-aided design

CNC – Computer Numeric Control

CPM – Critical path metod

DMAIC - define, measure, analyze, improve, control

DMADV - define, measure, analyze, design, verify

JIT – Just in time

PERT – Program evaluation and review technique

TPS – Toyota Production Systém

VSM – Value stream mapping

ZARN - Oboustranně působící axiální cylindrické valivé ložisko s radiálním vodícím ložiskem

8.2 Seznam symbolů

a – optimistický odhad doby trvání [hod.]

b – pesimistický odhad doby trvání [hod.]

$F(u)$ - distribuční funkce normálového rozdělení

i – číslo počátečního uzlu

j – číslo konečného uzlu

m – modus [hod.]

R_{ij}^C - časová rezerva [hod.]

T – termín [hod.]

t_e – očekávaná doba trvání dané činnosti [hod.]

T_E – očekávaný termín realizace celého úkolu [hod.]

T_i^m - nejdříve možný termín [hod.]

T_i^P - nejpozději přípustný termín

T_P – plánovaný termín ukončení celého úkolu [hod.]

σ_{t_n} – směrodatná odchylka

$\sigma_{t_n}^2$ – rozptyl

8.3 Seznam tabulek

TAB 1) Parametry deskových horizontálních vyvrtávaček Fermat [1].....	19
TAB 2) Parametry stolových horizontálních vyvrtávaček Fermat [1].....	20
TAB 3) Parametry křížových horizontálních vyvrtávaček Fermat [1].....	21
TAB 4) Vztahy mezi jednotlivými činnostmi.....	41
TAB 5) Odhad dob trvání jednotlivých činností.....	42
TAB 6) Přehled hodnot metody PERT.....	45
TAB 7) Přehled číselných hodnot pro jednotlivá pracoviště.....	52
TAB 8) Termínové parametry artiklu.....	53

8.4 Seznam obrázků

OBR. 1) Hlavní brněnská montážní hala s administrativním a technickým zázemím [1].....	18
OBR. 2) Horizontální vyvrtávačka Fermat WF [1].....	19
OBR. 3) Stolová horizontální vyvrtávačka typu Fermat WFT [1].....	20
OBR. 4) Křížová horizontální vyvrtávačka Fermat WFC [1].....	21
OBR. 5) UHAmi 30 [2].....	22
OBR. 6) Lící deska [3].....	23
OBR. 7) Dopravník třísek [4].....	23
OBR. 8) Sada úhelníků na deskovém poli [5].....	24
OBR. 9) Zpevňovací příruba [6].....	24
OBR. 10) Znázornění procesu [8].....	30
OBR. 11) Stroj WRF po finální montáži u zákazníka [1].....	32
OBR. 12) Příklad obrábění u zákazníka – obrobek je díl větrné elektrárny.....	32
OBR. 13) Pohled na montáž strojů WRF [10].....	33
OBR. 14) Křivky funkce hustoty pravděpodobnosti pro jednotlivé odhady [16].....	36
OBR. 15) Stojan připraven pro předmontáž.....	38
OBR. 16) Otočný stůl před montáží ložiska a stolní desky.....	38
OBR. 17) Frézovací hlava UHAmi 30 po montáži na vřeteník.....	40
OBR. 18) Síťový graf.....	43
OBR. 19) Rozmístění hodnot v uzlech.....	46
OBR. 20) Síťový graf s parametry metody PERT.....	47
OBR. 21) Ganttův diagram pro montáž stroje WRF.....	51
OBR. 22) Ganttův diagram pro jednotlivá pracoviště.....	52

9 SEZNAM PŘÍLOH

Síťový graf s hodnotami metody PERT na formátu A3

Síťový graf s hodnotami metody PERT

